



УКРАЇНА

(19) UA (11) 60209 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01H 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНОЇ ДИСИПАТИВНОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) u201014733

(22) 08.12.2010

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл.№ 11, 2011 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими нестационарних вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, в першому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , в кожному режимі задають початкове і кінцеве значення амплітуди вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, а в першому режимі задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} амплітуди вимушених коливань, вимірюють, фіксують і реєструють перший часовий інтервал $\Delta_1 t$ і число n_1 циклів вимушених коливань в цьому часовому інтервалі при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимірюють, фіксують і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів вимушених коливань в цьому часовому інтервалі при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2 ($V_2 \neq V_1, V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$) при зміні амплітуди коливань нелінійної коливальної системи в кожному режимі від її початкового значення до кінцевого значення, а в першому режимі від першого початкового значення до першого кінцевого значення, який відрізняється тим, що додатково формують третій і четвертий режими нестационарних вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, причому в третьому режимі виму-

шених коливань задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} відповідно амплітуді вимушених коливань, в другому і четвертому режимах вимушених коливань задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3}, X_{a4} відповідно амплітуді вимушених коливань, третій і четвертий режими вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи формують при зміні інерційності коливальної системи, в третьому режимі вимушених коливань частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою постійною швидкістю V_3 , в четвертому режимі вимушених коливань частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою постійною швидкістю V_4 , в третьому і четвертому режимах вимірюють, фіксують і реєструють третій і четвертий часові інтервали $\Delta_3 t, \Delta_4 t$ відповідно і числа n_3, n_4 циклів вимушених коливань в цих часових інтервалах відповідно при зміні частоти сигналу вимушеної дії із відповідними постійними швидкостями V_3, V_4 , а значення інерційно-жорсткісних параметрів визначають із співвідношень:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_4 t - \\ &\quad - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t]\} / (\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t), \\ m &= \Delta m \{ [2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_3 t - \\ &\quad - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t]^2 / \{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + \\ &\quad + 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_2 t]\}^2 - 1\}^{-1}, \\ c &= \frac{\Delta m}{(\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t)^2} \times \{ [2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + \\ &\quad + \frac{1}{2}[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_2 t]\}^{-2} - \{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - \\ &\quad - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + \frac{1}{2}[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t]\}^{-2} \}^{-1}, \end{aligned}$$

де: Δm - додаткова маса.

Корисна модель належить до області машинобудівної, авіаційної і ракетно-космічної техніки, транспортного і енергетичного машинобудування і може знайти застосування при проведенні випро-

бувань об'єктів (конструкції) на віброміцність, вібронадійність, вібростійкість при розробці нових вібраційних технологій.

(13) U
(11) 60209
(19) UA

Відомий спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким задають перше початкове і перше кінцеве значення амплітуди вільних коливань, вимірюють перший і другий часові інтервали зміни амплітуди коливань, вимірювання першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від першого початкового значення до першого кінцевого значення, потім задають друге початкове і друге кінцеве значення амплітуди вільних коливань, вимірювання другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від її другого початкового значення до другого кінцевого значення, після чого змінюють інерційність нелінійної коливальної системи і проводять вищевказану сукупність операцій по виміру першого і другого часових інтервалів і чисел циклів у кожному часовому інтервалі при зміні амплітуди вільних коливань від її першого початкового значення до першого кінцевого значення, від другого початкового значення до другого кінцевого значення відповідно, а визначення параметра нелінійної дисипативної коливальної системи проводять при урахуванні часових інтервалів і чисел циклів вільних коливань [Ав. св. СССР № 1703990, МПК G01H 11/00, 1992].

Недоліком відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи є недостатня інформативність за рахунок невизначеності положення нелінійного резонансного піка амплітудно-частотної характеристики в частотному діапазоні, а тому і невизначеності вибору початкових умов для реалізації режимів вільних коливань коливальної системи, що і призводить до обмеження функціональних можливостей способу.

За прототип вибрано спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими коливань коливальної системи, в кожному режимі задають початкове і кінцеве значення амплітуди коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють перший і другий часові інтервали і число циклів коливань в першому і другому часових інтервалах при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від її початкового до кінцевого значення, формують два режими як режими вимушених коливань нелінійної коливальної системи, в першому з яких частоту сигналу вимушеної дії змінюють із постійною швидкістю V_1 , а в другому - із постійною швидкістю V_2 , в режимах вимушених коливань початкові значення амплітуд коливань задають однаковими і кінцеві значення амплітуд коливань задають однаковими, вимірювання першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимірювання другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2

($V_2 \neq V_1, V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$), а визначення параметра ω_0 проводять із співвідношення:

$$\omega_0 = \frac{\left[2\pi(n_1 - n_2) + \frac{1}{2}(V_1\Delta_1^2t - V_2\Delta_2^2t) \right]}{(\Delta_1t - \Delta_2t)},$$

де: ω_0 - частота вільних коливань лінійної породжувальної системи;

Δ_1t, Δ_2t - перший і другий часові інтервали відповідно;

n_1, n_2 - числа циклів коливань в першому і другому часових інтервалах відповідно (Патент України на корисну модель № 41550, МПК G01H 11/00, 2009).

Недоліком відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи є недостатня точність визначення параметрів, що обумовлено недостатньою по модулю різницею першого і другого часових інтервалів при зміні швидкості частоти спочатку із однією постійною швидкістю, а далі із другою постійною швидкістю при зміні амплітуди вимушених коливань від одного постійного початкового значення до одного постійного кінцевого значення, а також і недостатньою по величині різницею чисел циклів коливань при реалізації режимів коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, що і приводить до обмеження функціональних можливостей способу.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи шляхом розширення функціональних можливостей за рахунок підвищення точності, що досягається введенням нових технологічних операцій при реалізації додатково двох режимів нестационарних вимушених коливань для нелінійної дисипативної коливальної системи із зміненою інерційністю, а саме, вимірюванням, фіксацією і реєстрацією в додатково введених режимах часових інтервалів і чисел циклів коливань в цих часових інтервалах, причому режими нестационарних вимушених коливань проводять із постійними, але різними швидкостями розгортки (зміни) частоти сигналу вимушеної дії при зміні амплітуди вимушених коливань об'єкта (конструкції) від відповідного початкового значення до відповідного кінцевого значення.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими нестационарних вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, в першому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , в кожному режимі задають початкове і кінцеве значення амплітуди вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, а в першому режимі задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} амплітуди вимушених коливань, вимірюють, фіксують і реєструють перший часовий інтервал Δ_1t і число n_1 циклів виму-

шених коливань в цьому часовому інтервалі при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимірюють, фіксують і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів вимушених коливань в цьому часовому інтервалі при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2 ($V_2 \neq V_1, V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$) при зміні амплітуди коливань нелінійної коливальної системи в кожному режимі від її початкового значення до кінцевого значення, а в першому режимі від першого початкового значення до першого кінцевого значення, згідно з корисною моделлю, додатково формують третій і четвертий режими нестационарних вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, причому в третьому режимі вимушених коливань задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} відповідно амплітуді вимушених коливань, в другому і четвертому режимах вимушених коливань задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3}, X_{a4} відповідно амплітуді вимушених коливань, третій і четвертий режими вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи формують при зміні інерційності коливальної системи, в третьому режимі вимушених коливань частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою постійною швидкістю V_3 , в четвертому режимі вимушених коливань частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою постійною швидкістю V_4 , в третьому і четвертому режимах вимірюють, фіксують і реєструють третій і четвертий часові інтервали $\Delta_3 t, \Delta_4 t$ відповідно і числа n_3, n_4 циклів вимушених коливань в цих часових інтервалах відповідно при зміні частоти сигналу вимушеної дії із відповідними постійними швидкостями V_3, V_4 , а значення інерційно-жорсткісних параметрів визначають із співвідношень:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \left\{ 2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_4 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t] \right\} / (\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t), \\ m &= \Delta m \left\{ 2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t] \right\}^2 / \{ 2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + \\ &+ 1/2[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_2 t] \}^{-1}, \\ c &= \frac{\Delta m}{(\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t)^2} \times \{ \{ 2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + \\ &+ \frac{1}{2}[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_2 t] \}^{-2} - \{ 2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - \\ & - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + \frac{1}{2}[(V_2\Delta_2^2 t - V_4\Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1\Delta_1^2 t - V_3\Delta_3^2 t)\Delta_4 t] \}^{-2} \}^{-1}, \end{aligned}$$

де: Δm - додаткова маса.

Застосування запропонованого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує розширення функціональних можливостей за рахунок підвищення точності визначення інерційно-жорсткісних параметрів шляхом введення нових технологічних

операцій, а саме: реалізації додатково двох (третього і четвертого) режимів нестационарних вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи із зміненою інерційністю, вимірюванням і реєстрацією в цих режимах значень часових інтервалів і чисел циклів коливань при формуванні третього режиму зміною частоти сигналу вимушеної дії із третьою постійною швидкістю, при формуванні четвертого режиму зміною частоти сигналу вимушеної дії із четвертою постійною швидкістю.

Розробка нового алгоритму визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи базується на наступних теоретичних перетвореннях.

Розглянемо нелінійну дисипативну коливальну систему із одним ступенем вільності, яка знаходиться під дією зовнішніх періодичних сил, що явно залежать від часу (Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - М.: Физматгиз, 1974. - С. 277-294), для якої диференціальне рівняння має вигляд

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = \varepsilon f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right), \quad (1)$$

де: $\omega_0^2 = cm^{-1}$, c - коефіцієнт жорсткості, m - маса коливальної системи; $\varepsilon > 0$ - малий позитивний параметр, $f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right)$ - функція, що має періодичний характер відносно до ωt із періодом 2π .

Рівняння (1) інтерпретують як рівняння коливань деякої механічної системи одиничної маси із частотою ω_0 вільних коливань, яка знаходиться під дією малого нелінійного збудження $\varepsilon f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right)$, що залежить від часу t .

При заданні рішення (1) у вигляді ряду

$$x = X_a \cos\left(\frac{p}{q}\omega t + \psi\right) + \varepsilon u_1(X_a, \omega t, \psi) + \varepsilon^2 u_2(X_a, \omega t, \psi) + \dots, \quad (2)$$

де X_a і ψ визначають із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \psi) + \varepsilon^2 A_2(X_a, \psi) + \dots, \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_0 - \frac{p}{q}\omega + \varepsilon B_1(X_a, \psi) + \varepsilon^2 B_2(X_a, \psi) + \dots, \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де p, q - взаємно прості числа.

Для отримання першого наближення розглядають головну гармоніку

$$x = X_a \cos \Theta, \quad \Theta = \frac{p}{q}\omega t + \psi, \quad (4)$$

а система рівнянь (3) для першого наближення має вигляд

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \psi), \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_0 - \frac{p}{q}\omega + \varepsilon B_1(X_a, \psi). \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Для головного резонансу $p = q = 1$, а система (5) набуває вигляду

., (6)

Проведемо нескладні перетворення (6), для виключення ε :

1) проведемо операцію ділення

$$\frac{d\psi}{dt} - \omega_0 + \omega = \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)}; \quad (7)$$

2) проведемо алгебраїчне перетворення (7)

$$d\psi + \omega dt - \omega_0 dt = \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a. \quad (8)$$

При умові, якщо частота ω сигналу зовнішньої дії залежить від часу лінійно, тобто $\omega = Vt$, де V - постійна швидкість зміни частоти, після операції інтегрування лівої і правої частин рівняння (8), отримаємо таке співвідношення

$$2\pi n + \frac{1}{2} V \Delta t^2 - \omega_0 \Delta t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (9)$$

де n - число циклів коливань в часовому інтервалі Δt , значення амплітуди коливань на початку часового інтервалу Δt дорівнює X_{a1} , значення амплітуди коливань на кінці часового інтервалу Δt дорівнює X_{a2} .

При реалізації чотирьох режимів вимушених коливань при зміні частоти сигналу вимушеної дії із швидкостями V_1, V_2, V_3, V_4 ($V_1 < V_2 < V_3 < V_4$) із співвідношення (9) отримаємо чотири таких співвідношення:

$$2\pi n_1 + \frac{1}{2} V_1 \Delta_1^2 t - \omega_0 \Delta_1 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (10)$$

$$2\pi n_2 + \frac{1}{2} V_2 \Delta_2^2 t - \omega_0 \Delta_2 t = \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (11)$$

$$2\pi n_3 + \frac{1}{2} V_3 \Delta_3^2 t - \omega_0 \Delta_3 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (12)$$

$$2\pi n_4 + \frac{1}{2} V_4 \Delta_4^2 t - \omega_0 \Delta_4 t = \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (13)$$

$$\text{де: } \omega_0^2 = \frac{c}{m}, \bar{\omega}_0^2 = \frac{c}{(m + \Delta_1 m)};$$

c - коефіцієнт жорсткості; m - маса рухомої системи; $\Delta_1 m \ll m$ - додаткова маса; n_1, n_2, n_3, n_4 - числа циклів коливань в першому, другому, третьому і четвертому часовому інтервалі $\Delta_1 t, \Delta_2 t, \Delta_3 t, \Delta_4 t$ відповідно при зміні частоти сигналу вимушеної дії із швидкостями V_1, V_2, V_3, V_4 відповідно; X_{a1}, X_{a3} - перше і друге початкові значення амплітуди вимушених коливань, відповідно; X_{a2}, X_{a4} - перше і друге кінцеві значення амплітуди вимушених коливань відповідно; $\omega_0, \bar{\omega}_0$ - частоти вільних коливань лінійної породжувальної системи без зміни і при зміні інерційності нелінійної дисипативної коливальної системи відповідно.

Із системи рівнянь (10), (11), (12), (13) отримаємо таку систему рівнянь для визначення частот $\omega_0, \bar{\omega}_0$, а саме:

$$\left. \begin{aligned} \omega_0 \Delta_1 t - \bar{\omega}_0 \Delta_3 t &= 2\pi(n_1 - n_3) + \frac{1}{2} (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t) \\ \omega_0 \Delta_2 t - \bar{\omega}_0 \Delta_4 t &= 2\pi(n_2 - n_4) + \frac{1}{2} (V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t) \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Із системи рівнянь (14) отримаємо співвідношення для визначення частот $\omega_0, \bar{\omega}_0$, а саме:

$$\omega_0 = \frac{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_4 t]}{(\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t)}, \quad (15)$$

$$\bar{\omega}_0 = \frac{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_2 t]}{(\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t)}, \quad (16)$$

$$m = \Delta m \left[\left(\frac{\omega_0}{\bar{\omega}_0} \right)^2 - 1 \right]^{-1}, c = \Delta m \left(\frac{1}{\omega_0^2} - \frac{1}{\bar{\omega}_0^2} \right)^{-1}; \quad (17)$$

$$m = \Delta m \left\{ \frac{2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_4 t]^2}{[2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_2 t]^2} - 1 \right\}^{-1}; \quad (18)$$

$$c = \frac{\Delta m}{(\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t)^2} \times \left\{ [2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_1 t - (n_1 - n_3)\Delta_2 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_1 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_2 t]^2] - [2\pi[(n_2 - n_4)\Delta_3 t - (n_1 - n_3)\Delta_4 t] + 1/2[(V_2 \Delta_2^2 t - V_4 \Delta_4^2 t)\Delta_3 t - (V_1 \Delta_1^2 t - V_3 \Delta_3^2 t)\Delta_4 t]^2] \right\}^{-1}. \quad (19)$$

Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують на підставі наступного алгоритму:

1) формують перший режим вимушених коливань досліджуваної нелінійної коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1} і X_{a2} відповідно амплітуді вимушених коливань;

2) вимірюють і реєструють перший часовий інтервал $\Delta_1 t$ і число n_1 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} ;

3) формують другий режим вимушених коливань досліджуваної нелінійної коливальної системи; в цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із другою постійною швидкістю V_2 , задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3} і X_{a4} амплітуди вимушених коливань;

4) вимірюють і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} ;

5) формують третій режим вимушених коливань досліджуваної нелінійної коливальної системи; в цьому режимі змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи, а частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою постійною швидкістю V_3 ;

6) вимірюють і реєструють третій часовий інтервал $\Delta_3 t$ і число n_3 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} ;

7) формують четвертий режим вимушених коливань досліджуваної нелінійної коливальної системи із зміненою інерційністю; в цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою постійною швидкістю V_4 ;

8) вимірюють і реєструють четвертий часовий інтервал $\Delta_4 t$ і число n_4 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} .

Новим в реалізації способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи є проведення операцій вимірювання, реєстрації і запам'ятовування додатково третього і четвертого часових інтервалів $\Delta_3 t, \Delta_4 t$ і чисел n_3, n_4 циклів коливань в цих часових інтервалах при зміні частоти сигналу вимушеної дії із третьою і четвертою швидкостями V_3, V_4 зміни частоти сигналу вимушеної дії відповідно часовим інтервалам при зміні амплітуди сигналу коливань конструкції від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} - в третьому ре-

жимі, від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} - в другому і четвертому режимах при зміні інерційності нелінійної дисипативної коливальної системи в третьому і четвертому режимах.

Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують наступним чином:

1) установлюють досліджуваний об'єкт (конструкцію) на рухомій платформі вібростенда електродинамічного типу;

2) послідовно реалізують чотири режими вимушених коливань досліджуваного об'єкта (конструкції). В першому і третьому режимах задають перше початкове і перше кінцеве значення амплітуд вимушених коливань. В другому і четвертому режимах задають друге початкове і друге кінцеве значення амплітуд вимушених коливань;

3) при реалізації третього і четвертого режимів змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи шляхом жорсткого з'єднання із масою m коливальної системи додаткової маси $\Delta m \ll m$;

4) при реалізації першого, другого, третього і четвертого режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із постійними швидкостями V_1, V_2, V_3, V_4 відповідно;

5) в кожному режимі вимірюють і реєструють величини часових інтервалів і числа циклів коливань;

6) за допомогою вимірювально-обчислювального комплексу проводять обробку множини зареєстрованих сигналів і на підставі отриманих нових аналітичних співвідношень визначають значення параметрів досліджуваного об'єкта (конструкції).